МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

А. К. БЕКТАБЕГОВ

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

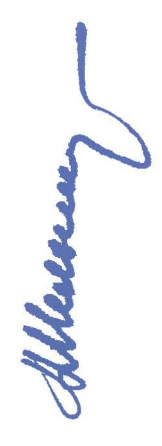
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 296

А. К. БЕКТАБЕГОВ

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Берг А. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Джигит И. С., Канаева А. М., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Чечик П. О., Шамшур В. И.

В брошюре рассматриваются требования, предъявляемые к современным звукоснимателям, рассчитанным для проигрывания как долгоиграющих, так и обычных граммофонных пластинок. Разобраны конструктивные варианты и типы звукоснимателей и описаны некоторые звукосниматели, выпускаемые нашей промышленностью.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

Автор *Бектабегов Алексей Константинович*

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

* * *

Редактор *В. Г. Корольков* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 20/XI 1957 г. Подписано к печати 2/IV 1958 г.
Бумага 84×108[1]/32 2,05 п. л. Уч.-изд. л. 2,2
Т-03543 Тираж 70 000. Цена 90 коп. Зак. № 532.

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ГРАММОФОННЫЕ ПЛАСТИНКИ

Механическая запись звука осуществляется нанесением на какой-либо материал, называемый в этом случае звуконосителем, канавки, модулированной звуковыми колебаниями.

Форма звуконосителя может быть различна (диск, барабан или лента). Наиболее удобной формой для эксплуатации и размножения записи оказался, как известно, диск, получивший всеобщее признание, в виде граммофонной пластинки.

Существуют два метода записи граммофонной пластинки — поперечный и глубинный. При поперечной записи резец колеблется в направлении радиуса пластинки, и канавка имеет постоянную глубину. При глубинной записи резец колеблется в направлении оси пластинки, и глубина канавки получается переменной. Поперечная запись более удобна в отношении постоянства нагрузки на резец пишущей головки, взаимной компенсации поверхностного шума пластинки обеими стенками канавки, а также для конструирования воспроизводящих головок (звукоснимателей). Все промышленные пластинки как обычные, так и долгоиграющие записываются поперечным методом.

Звуковая канавка может вырезаться или выдавливаться на поверхности диска. Запись резанием представляет собой более совершенный способ, так как обеспечивает запись более широкого диапазона звуковых частот. Все промышленные пластинки записаны этим способом.

Процесс производства граммофонных пластинок как обычных, так и долгоиграющих вкратце состоит в следующем.

Первичная запись осуществляется на специальном диске из воскоподобной массы или на тондиске, представляющем собой металлический диск-подложку с нанесенным на него особым лаком. Записанный диск покрывается тончайшим слоем серебра, на который далее гальваническим способом наращивается слой красной меди нужной толщины. После

разъема получается металлический негатив. Для сохранения записи с негатива также гальваническим способом последовательно снимают ряд металлических копий. С нечетных номеров копий, обычно с пятых, на специальных прессах производится печатание пластинок.

Граммофонные пластинки выпускаются двух типов: долгоиграющие (с так называемой микрозаписью), предназначенные только для электрического воспроизведения, со скоростью вращения $33^1/_3$ *об/мин* и обычные, предназначенные главным образом для акустического воспроизведения, со скоростью вращения 78 *об/мин*.

Долгоиграющие пластинки, разработанные сравнительно недавно, отличаются рядом положительных особенностей, которые позволяют рассматривать их как значительный шаг вперед в механической записи и считать весьма перспективными. Запись практически полного звукового диапазона (от 30 до 15 000 *гц*) при широком динамическом диапазоне (благодаря весьма низкому уровню поверхностного шума) и малых нелинейных искажениях делает долгоиграющую пластинку устройством, позволяющим легко осуществить звуковоспроизведение наиболее высокого качества в домашних условиях.

Ниже приводятся некоторые сведения из ГОСТ 5289-56 на пластинки граммофонные и ГОСТ 7893-56 на звукозапись механическую на диск, которые могут представить интерес для радиолюбителей.

Пластинки каждого типа могут выпускаться трех форматов, обозначаемых по наружному диаметру.

Таблица 1

Формат пластинки	Наружный диаметр, *мм*	Диаметр начала записи, *мм*	Диаметр конца записи, не менее *мм*		Диаметр замкнутой концентрической канавки, *мм*		Толщина, не более *мм*		Вес не более; *г*	
			Долгоиграющие	Обычные	Долгоиграющие	Обычные	Долгоиграющие	Обычные	Долгоиграющие	Обычные
$Ф_{20}$	200±1	190±1					1,8	1,9	90	120
$Ф_{25}$	250±1	240±1	120	95	110—1	90—1	2,2	2,7	160	200
$Ф_{30}$	300±1	290±1					2,6	3,0	250	300

В табл. 1 приведены некоторые данные пластинок. Диаметр центрового отверстия для всех пластинок $7^{+0,1}$ *мм*.

Плоскостность пластинки должна быть обеспечена с отклонением, не превышающим 2,0 *мм*.

Разнотолщинность пластинки не должна превышать 22%.

Эксцентриситет центра отверстия пластинки относительно центра записи не должен превышать для обычных пластинок с симфоническими, оперными, камерно-инструментальными и камерно-вокальными записями 0,2 *мм*, с остальными записями 0,3 *мм*, а для долгоиграющих пластинок во всех случаях 0,15 *мм*.

Профиль поперечного сечения канавки приведен на рис. 1.

В ГОСТ 7893-56 стандартизованы частотные характеристики записи долгоиграющих и обычных пластинок, пред-

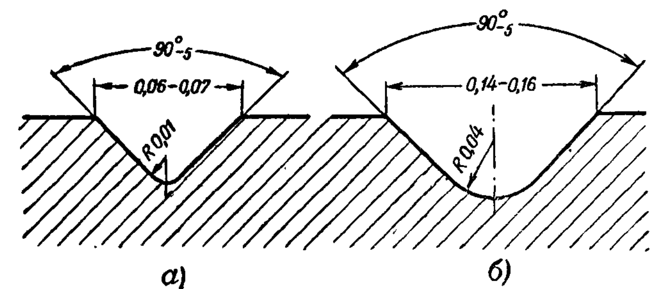


Рис. 1. Профиль поперечного сечения канавки.
а — микрозаписи; *б* — обычной записи.

ставленные как зависимость колебательной скорости резца пишущей головки от частоты при постоянстве напряжения на входе усилителя записи. Цифровые данные частотных характеристик приведены в табл. 2.

При записи долгоиграющей пластинки наибольшему сигналу должна соответствовать амплитуда смещения канавки не более 25 *мк*, а амплитуда колебательной скорости не более 12,2 *см/сек* (допускается кратковременное превышение указанного предела колебательной скорости на низких частотах, но при этом амплитуда смещения не должна быть более 35 *мк*). В обычной пластинке амплитуда смещения должна быть не более 40 *мк*, а амплитуда колебательной скорости не более 18,4 *см/сек*.

Выбор приведенной в табл. 2 частотной характеристики не является случайным и связан с необходимостью получения наилучших соотношений уровней записи во всем рабочем частотном диапазоне с учетом сохранения наибольших уровней в области низких частот и нормальных условий огибания иглой модулированной канавки на высоких частотах.

Таблица 2

Частота, *гц*	30	50	75	100	200	300	500	700	1 000	2 000	3 000	5 000	7 000	10 000	12 000	15 000
Долгоиграющая запись	−20,8	−16,6	−13,6	−11,2	−6,0	−3,6	−1,6	−0,7	0	1,4	2,8	5,5	7,8	10,5	11,9	13,8
Обычная запись	—	−16,6	−13,2	−10,9	−5,7	−3,3	−1,3	−0,5	0	0,6	1,0	1,9	2,9	4,6	—	—

Понятно, что для правильного воспроизведения граммофонной записи частотная характеристика воспроизводящего устройства должна быть обратна частотной характеристике записи. Такая характеристика носит название характеристики воспроизведения (рис. 2). Она принята единой для обоих видов записи, так как разница между двумя характеристиками на высоких частотах может быть легко скомпенсирована регулятором тембра. Ее цифровые данные аналогичны данным частотной характеристики микрозаписи, приведенным в табл. 2 (только знаки должны быть изменены на обратные). Эта характеристика воспроизведения стандартизована в ГОСТ 8383-57.

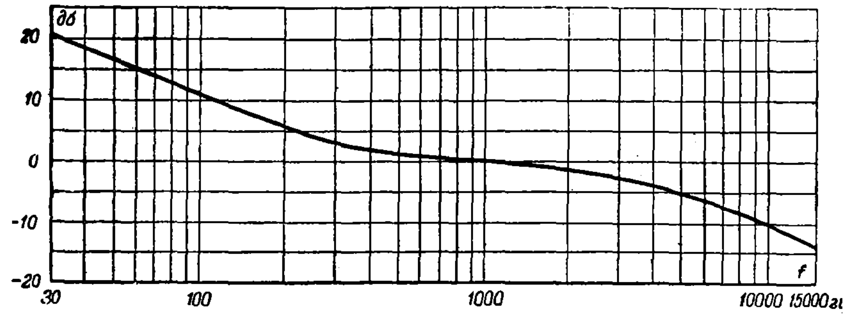


Рис. 2. Частотная характеристика воспроизведения.

СВОЙСТВА ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Создание долгоиграющей пластинки привело к разработке звукоснимателей, по своей конструкции и электромеханическим параметрам существенно отличающихся от звукоснимателей старого типа.

Рассмотрим основные условия, которым должны удовлетворять эти звукосниматели.

Частотная характеристика. Рабочий частотный диапазон, как следует из характеристики воспроизведения, должен лежать в пределах от 30 до 10 000—15 000 *гц*. При этом по своей форме частотная характеристика звукоснимателя должна приближаться к частотной характеристике воспроизведения, что избавляет от применения специальной коррекции в усилительном тракте и позволяет использовать низкочастотную часть любого радиоприемника.

Не следует думать, что в связи с ограничением рабочего диапазона большинства воспроизводящих устройств со стороны низких частот (75—100 *гц*) его можно сократить и для звукоснимателя. Так как эти частоты на граммофонных пластинках записаны, звукосниматель должен их воспроизвести. Иначе возникают искажения из-за неогибания иглой модуляции канавки, хорошо слышимые в виде хрипов. Кроме того, при этом сильно возрастает износ записи и иглы.

Частотная характеристика звукоснимателя определяется особенностями его механической системы. Звукосниматель представляет собой сложную механическую колебательную систему, которая обычно имеет один или несколько резонансов в области высоких и один в области низких частот.

Главный резонанс в области верхних частот (от 4 000 *гц* и выше) определяется массой и упругостью закрепления (подвеской) подвижной системы звукоснимателя. На более высоких частотах могут быть резонансы отдельных частей подвижной системы (например, собственный резонанс иглодержателя), что в ряде случаев позволяет расширить частотный диапазон звукоснимателя, не передвигая для этого главный резонанс в сторону более высоких частот.

Низкочастотный резонанс определяется общей массой звукоснимателя с тонармом и упругостью закрепления подвижной системы.

Рабочий частотный диапазон звукоснимателя лежит между низкочастотным и высокочастотным резонансами. На частотах ниже первого резонанса подвижная система колеблется как одно целое со звукоснимателем и э. д. с. в генерирующем элементе звукоснимателя не возбуждается (под генерирующим элементом подразумевается часть звукоснимателя, преобразующая механическую энергию в электри-

ческую). На частотах выше второго резонанса гибкость иглы оказывается столь большой, что перемещение ее конца не передается подвижной системе.

В области резонансных частот отдача звукоснимателя, также как и механическое сопротивление подвижной системы, резко возрастает, что вызывает подчеркивание отдельных частот при воспроизведении и повышенный износ записей и игл. Кроме того, на этих частотах возрастают и нелинейные искажения.

Таким образом, чем ровнее характеристика звукоснимателя, тем лучше он как по качеству воспроизведения, так и в отношении вызываемого износа. Для достижения ровной характеристики резонансные явления сглаживают путем механического демпфирования. Электрическая коррекция не решает задачи, так как возрастание механического сопротивления в области резонансных частот при этом не устраняется.

При правильном конструктивном решении высокочастотный резонанс смещают на границу заданного рабочего диапазона и сглаживают его механическим демпфером. Низкочастотный же резонанс из-за сложности его демпфирования обычно смещают за пределы рабочего диапазона. Так как упругость закрепления подвижной системы является заданной из условий высокочастотного резонанса, то это смещение осуществляется соответствующим выбором массы звукоснимателя.

Обычно за счет массы тонарма смещают низкочастотный резонанс звукоснимателя в область 15—20 *гц*. Головка в этом случае должна быть жестко связана с тонармом.

Чувствительность. Так как обычно электрическое воспроизведение граммофонных пластинок производится через усилитель низкой частоты радиоприемника, то чувствительность звукоснимателя должна быть достаточной, чтобы обеспечить его нормальную раскачку. В настоящее время чувствительность звукоснимателя определяют как его отдачу, измеренную на нагрузке в 1 *Мом* при воспроизведении частоты 1 000 *гц* при амплитуде колебательной скорости конца иглы в 1 *см/сек* и измеряют в *мв/см/сек*.

До введения долгоиграющих пластинок чувствительность звукоснимателя определялась как его отдача при воспроизведении частоты 1 000 *гц*, записанной со световым бликом в 1 *см*, что для стандарта скорости вращения 78 *об/мин* соответствовало колебательной скорости 4,08 *см/сек*. С введением других стандартов скорости вращения ($33^1/_3$, 45 и

в последнее время $16^2/_3$ *об/мин*) такое определение оказалось неудобным, так как ширина блика зависит от скорости вращения при записи.

ГОСТ 5651-51 предусматривает величину напряжения на гнездах «Звукосниматель» для радиоприемников первого класса 0,2 *в*, а для приемников второго и третьего классов 0,25 *в*. Средний уровень микрозаписи считается равным 3,5 *см/сек*, а обычной записи 6 *см/сек*. Если принять для среднего уровня наименьшую величину 3,5 *см/сек*, а для входного напряжения наибольшую величину 0,25 *в* (т. е. самые жесткие условия), то требуемая чувствительность звукоснимателя равна $\frac{250}{3,5} \approx 70$ *мв/см/сек*.

Нелинейные искажения. Эти искажения возникают в том случае, когда звукосниматель неточно воспроизводит кривую модуляции, записанной на граммофонной пластинке. Причиной бывает то, что смещение подвижной системы оказывается не пропорционально приложенному усилию. В пьезоэлектрическом звукоснимателе это будет иметь место, например, при перекосе пьезоэлемента, а в электромагнитном при несимметрии магнитных зазоров. Нелинейные искажения обычно прослушиваются в виде характерного хрипения. Величина этих искажений зависит от конструкции и качества сборки звукоснимателя.

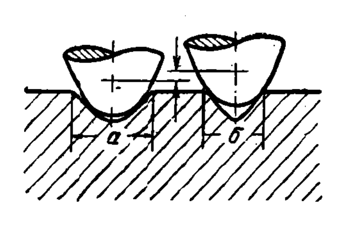
Нелинейные искажения хорошо наблюдаются на экране электронного осциллоскопа при воспроизведении чистых тонов, записанных на частотных пластинках. Отсутствие видимых искажений во всем рабочем частотном диапазоне достаточно для хорошей оценки звукоснимателя в этом отношении.

Нагрузка на иглу. От нагрузки на иглу (веса, приведенного к концу иглы), измеряемой в граммах, зависит износ записей и игл. Для каждого типа звукоснимателя существует так называемая оптимальная или критическая нагрузка на иглу. Это та наименьшая вертикальная сила, при которой игла еще точно следует по модулированной канавке при наибольших допустимых амплитудах записи. При нагрузке на иглу меньше критической она на больших амплитудах записи будет выталкиваться вверх, и звукосниматель начнет прыгать по пластинке. При этом возникают так называемые искажения от неогибания и большие механические усилия, вызывающие быстрый износ пластинки и иглы.

Оптимальная нагрузка на иглу зависит от параметров

звукоснимателя. Чем больше податливость подвижной системы (т. е. чем меньше ее масса и упругость закрепления) и чем слабее выражены резонансные явления частотной характеристики, тем меньше будет критическая нагрузка на иглу и, следовательно, меньше износ записи и иглы при воспроизведении. Рабочая нагрузка на иглу выбирается на 20—25% выше критической.

При воспроизведении долгоиграющих пластинок необходимо применять звукосниматель с нагрузкой на иглу, не превышающей 15 *г* (для сравнения напомним, что звукосниматели старых систем имели нагрузку на иглу порядка 65—80 *г*, а звуковые коробки акустических граммофонов 120—140 *г*). Новый ГОСТ 8383-57 устанавливает ее не свыше 12 *г*. Такая сравнительно небольшая нагрузка необходима из-за малого радиуса закругления иглы (около 25 *мк*), применяемой для воспроизведения долгоиграющей пластинки. Чем меньше радиус закругления, тем больше при той же нагрузке на иглу давление на пластинку, вследствие уменьшения площади соприкосновения иглы со стенками канавки.



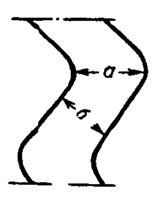


Рис. 3. Вертикальное перемещение конца иглы из-за эффекта заклинивания.
а — наибольшая ширина канавки; *б* — наименьшая ширина канавки.

Для большинства современных звукоснимателей нагрузка на иглу колеблется в пределах 8—14 *г*. Для надежного управления часто применяемыми в проигрывателях автоматическими устройствами она не должна быть меньше 6 *г*.

Податливость подвижной системы, о которой говорилось выше, принято выражать в сантиметрах на дину. Иначе говоря, это измеренная в динамическом режиме величина смещения иглы в сантиметрах при приложенной к концу иглы силе, равной 1 *дин*. Для большинства современных звукоснимателей эта величина лежит в пределах приблизительно от $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*.

Игла должна, кроме того, обладать максимально возможной податливостью в вертикальной плоскости (без воздействия на генерирующий элемент, чтобы не создавать паразитной э. д. с.) для сведения к минимуму переменных механических нагрузок, возникающих при так называемом эффекте заклинивания и при воспроизведении покоробленных пластинок. Эффект заклинивания возникает из-за формы записывающего резца. Как видно из рис. 3, угол раствора канавки при записи слегка меняется, благодаря чему игла перемещается в вертикальной плоскости, двигаясь вверх и вниз. То же самое движение имеет место при воспроизведении покоробленных пластинок. Очевидно, что если эти перемещения совершает только игла (с частью иглодержателя), а не весь звукосниматель, то существенно уменьшается износ записей и игл.

ИГЛА

Как элемент, непосредственно соприкасающийся с поверхностью стенок канавки и передающий энергию подвижной системе звукоснимателя, игла при воспроизведении выполняет весьма важную роль.

Раньше, когда граммофонные пластинки воспроизводились преимущественно акустическим способом, использовалось много различных типов игл. Формой и размерами иглы регулировали частотную характеристику звуковых коробок акустических граммофонов и громкость воспроизведения. Иглы изготовлялись из самых различных материалов: стали, стекла, дерева, камня (алмаз, корунд), сплавов твердых металлов. Делались различные комбинированные иглы, как, например, игла, состоявшая из тонкой вольфрамовой проволоки, заделанной в графитовую массу.

В современных звукоснимателях с постоянными иглами находят применение главным образом корундовые и алмазные иглы. Стальные иглы употребляются только для воспроизведения обычных граммофонных пластинок в акустических портативных граммофонах (иглы громкого и тихого тона) и в универсальных звукоснимателях, работающих на сменных иглах (иглы тихого тона).

Форма и размеры корундовых и стальных игл стандартизованы (ГОСТ 7765-55 и 1117-51). Основные их данные приведены на рис. 4.

Правильное воспроизведение граммофонной записи может быть достигнуто только в том случае, когда конец иглы опирается на стенки канавки, не касаясь ее дна (рис. 5). Игла с радиусом закругления, меньшим радиуса закругления дна канавки, не сможет следовать за всеми извилинами последней и воспроизведение будет искаженным. Поэтому

иглы для долгоиграющих и обычных пластинок различаются между собой радиусом закругления конца (27 и 60 *мк* соответственно). Тогда в обоих случаях игла хорошо удерживается стенками канавки и не касается ее дна.

Воспроизведение долгоиграющих пластинок может производиться только корундовыми иглами, которые имеют правильную форму и зеркальную полировку, что гарантирует сохранность записей и высокое качество воспроизве-

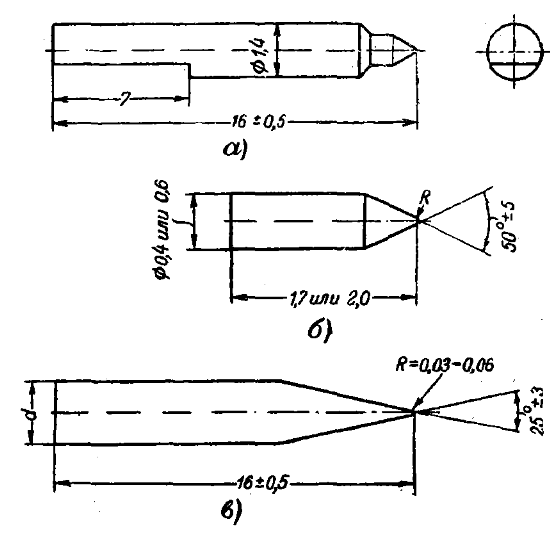


Рис. 4. Основные данные корундовых и стальных игл (по ГОСТ 7765-55 и ГОСТ 1117-51).

а — корундовая игла в оправке; *б* — корундовая игла-вставка (для долгоиграющих пластинок $R=0{,}027^{+0{,}005}_{-0{,}003}$, а для обычных пластинок $R=0{,}06^{+0{,}01}_{-0{,}005}$); *в* — стальная игла (для иглы громкого тона $d = 1{,}4$ *мм*, а для иглы тихого тона $d = 1$ *мм*).

дения. Эти иглы выпускаются промышленностью в дюралевых оправках, окрашенных в красный цвет. Они предназначены для применения в универсальных звукоснимателях, работающих на сменных иглах (например, в звукоснимателе типа ЗУФ-52). Предусмотрен также выпуск корундовых игл в оправках для обычной записи. Корундовые иглы без оправки используются в иглодержателях, которыми комплектуются воспроизводящие головки универсальных звукоснимателей с постоянными иглами.

В процессе работы игла постепенно стирается, что ухудшает воспроизведение высоких частот, так как на этих частотах стертая игла уже не может точно следовать за изги-

бами канавки. При этом нельзя поворачивать иглу, пытаясь получить лучшие результаты. Такая игла будет работать как резец, сильно разрушая пластинку. Именно поэтому оправка корундовой иглы снабжена лыской, в которую упирается зажимной винт, благодаря чему игла всегда сохраняет одинаковое положение относительно канавки.

Согласно ГОСТ 7765-55 корундовые иглы при применении в универсальных звукоснимателях рассчитаны на 150 *ч* работы. Стальные же иглы стираются быстро и способны хорошо воспроизвести только одну сторону пластинки. Заставляя стальную иглу проигрывать несколько сторон, мы будем получать искаженное воспроизведение и, кроме того, портить пластинку.

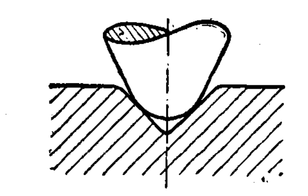


Рис. 5. Правильное положение конца иглы в канавке.

Следует заметить, что, по-видимому, срок работы корундовых игл, указанный в ГОСТ, является завышенным. По данным, приведенным в литературе, предельное время работы корундовой иглы в случае микрозаписи, определенное неквалифицированным слушателем на аппаратуре среднего качества, составляет не более 120 *ч*. Указывается также, что для высококачественного воспроизведения микрозаписи срок службы корундовой иглы следует считать не более 40 *ч*, а для обычной записи — не более 90 *ч*.

ТОНАРМ

Как уже упоминалось, свойства тонарма определяют частотную характеристику звукоснимателя в области низких частот, но его влияние может сказаться и на более высоких частотах. При недостаточной жесткости тонарма может возникнуть так называемый торсионный резонанс, когда тонарм на некоторой частоте начинает скручиваться вокруг своей продольной оси. Торсионный резонанс бывает расположен выше основного низкочастотного и в зависимости от конструкции может лежать в области частот примерно до 400 *гц*. Для исключения возможности появления торсионного резонанса необходимо тонарм делать жестким, предпочтительно применяя конструкцию с плавно меняющейся площадью поперечного сечения по длине тонарма.

Чтобы избежать повышенных переменных нагрузок на иглу при воспроизведении пластинок с неровной поверх-

ностью или с эксцентриситетом записи, а также обеспечить максимальную устойчивость звукоснимателя на пластинке, следует сводить к минимуму инерционность тонарма в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поэтому тонарм должен быть легким, а его основная масса сосредоточена в головке. В тех же целях регулировку нагрузки на иглу следует осуществлять при помощи пружины, а не противовеса.

Особое внимание должно быть обращено на трение и люфт в горизонтальной и вертикальной осях тонарма. При очень малых нагрузках на иглу в современных звукоснимателях трение в осях играет весьма большую роль, так как препятствует игле легко вести тонарм по пластинке. Наличие же чрезмерных люфтов (в частности, вдоль горизонтальной оси) вызывает вибрации тонарма на низких частотах и, как следствие, резко выраженные нелинейные искажения от неогибания.

В этом отношении представляют известный интерес разработки некоторых зарубежных фирм, построивших тонармы с линейным механическим сопротивлением в осях на прослойке из кремнийорганического масла определенной вязкости. Такие тонармы имеют легкий ход при медленном движении по пластинке, но при резких смещениях сопротивление сильно возрастает. Благодаря этому устраняется резонанс тонарма и существенно повышается устойчивость звукоснимателя на пластинке при воспроизведении. Однако конструкции таких тонармов достаточно сложны.

Тонарм определяет правильность расположения головки звукоснимателя по отношению к воспроизводимой канавке записи. На этом вопросе необходимо остановиться более подробно.

Угловая погрешность. Пишущая головка при записи на диск всегда перемещается вдоль радиуса последнего, звукосниматель же перемещается по дуге окружности. Поэтому звукосниматель не может точно воспроизвести модуляцию канавки, так как вертикальная плоскость симметрии его головки, проведенная через конец иглы, может быть касательной к звуковой канавке только в одной какой-нибудь точке диска (при прямом тонарме, ось симметрии которого совпадает с осью симметрии головки, см. рис. 6). Во всех остальных точках эта плоскость оказывается повернутой относительно канавки на некоторый угол, называемый углом погрешности, вследствие чего возникает искажение воспроизводимой кривой, показанное на рис. 7. При этом из-за

появляющегося бокового усилия будет иметь место повышенный износ одной из сторон канавки.

На рис. 8 показаны силы, действующие на иглу, для двух положений прямого тонарма. При вращении пластинки на конец иглы действуют сила трения $F_т$, направленная по касательной к канавке, и противодействующая сила $F_п$

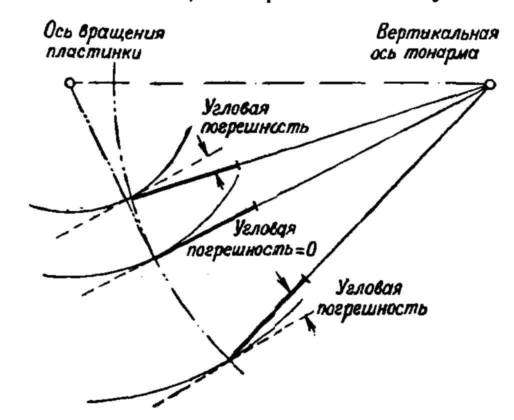


Рис. 6. При прямом тонарме вертикальная плоскость симметрии головки, проведенная через конец иглы, может быть касательной к канавке только в одной точке.

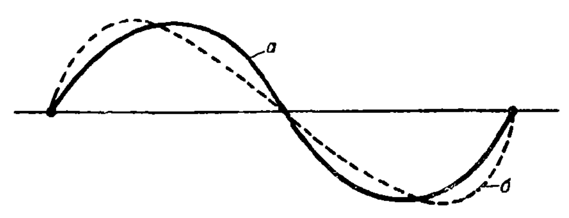


Рис. 7. Нелинейные искажения при наличии угловой погрешности. *а* — синусоидальная кривая, записанная на пластинке; *б* — кривая, воспроизведенная звукоснимателем.

в направлении вертикальной оси вращения тонарма. Если эти силы не лежат на одной прямой, то возникает равнодействующая сила $F_б$, направленная к центру или к краю пластинки.

Оказывается, однако, что положение прямого тонарма относительно каких-либо двух произвольно взятых радиусов записи может быть выбрано так, что углы погрешности в обоих случаях будут одинаковы. Тогда смещение головки звукоснимателя относительно тонарма на этот угол сведет погрешность в двух данных точках к нулю. В результате

наибольшая величина угловой погрешности по сравнению с таковой для прямого тонарма может быть существенно уменьшена.

Рассматривая для этого случая два косоугольных треугольника $OO'A$ и $OO'B$ (рис. 9) можем написать:

$$d^2 = r_м^2 + l^2 - 2lr_м \cos\alpha; \tag{1}$$

$$d^2 = r_б + l^2 - 2lr_б \cos\alpha, \tag{2}$$

где $d = OO'$ — расстояние между центром вращения пластинки и вертикальной осью тонарма;

$l = AO' = BO'$ — расстояние от вертикальной оси тонарма до конца иглы;

$r_м = AO$ — меньший радиус;

$r_б = BO$ — больший радиус;

α — угол $O'AO$, равный углу $O'BO$.

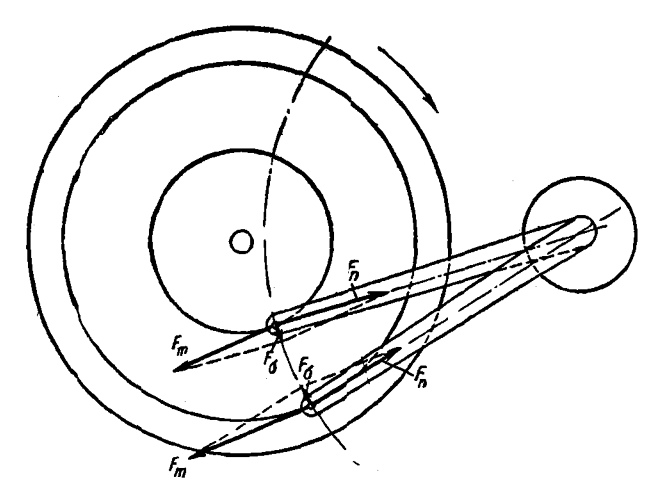


Рис. 8. Силы, действующие на иглу, для двух случаев положения прямого тонарма (угол погрешности равен нулю в середине поля записи пластинки).

Решаем уравнения (1) и (2) для $\cos\alpha$:

$$\cos\alpha = \frac{r_м^2 + l^2 - d^2}{2lr_м}; \tag{3}$$

$$\cos\alpha = \frac{r_б^2 + l^2 - d^2}{2lr_б}. \tag{4}$$

Угол коррекции β (он же угол смещения головки), как показано на рис. 9, дополняет угол α до 90°. Таким образом,

$$\beta = 90° - \alpha. \tag{5}$$

В этом случае угол погрешности γ равен нулю. Угол β, на который смещена головка относительно тонарма (при выбранном угле α), является постоянной величиной.

Угол α при перемещении звукоснимателя по пластинке является величиной переменной и зависит от ее радиуса r.

Очевидно, во всех случаях, когда угол погрешности не равен нулю, значение угла α' будет больше или меньше α

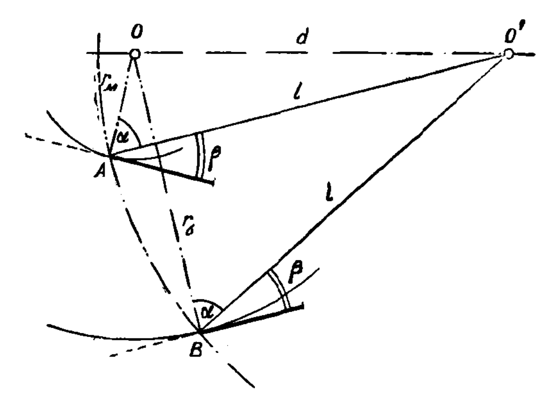


Рис. 9. К расчету угла коррекции.

на величину угла погрешности γ. Другими словами, алгебраическая сумма углов α', β и γ равна 90°. Таким образом,

$$\gamma = 90° - (\alpha' + \beta). \tag{6}$$

Приравнивая уравнения (3) и (4) и решая их для l, получаем:

$$l = \sqrt{d^2 + r_м r_б}. \tag{7}$$

Как можно видеть из уравнения (7), l всегда будет больше d, т. е. в звукоснимателе со смещенной головкой всегда будет иметь место вынос иглы за центр вращения пластинки.

Так как расстояние d между центрами вращения пластинки и тонарма определяется из конструктивных соображений, а радиусы $r_м$ и $r_б$ из наивыгоднейшего распределения угловой погрешности по радиусу записи, то при рас-

чете угла коррекции представляется целесообразным задаваться этими величинами.

Расстояние d может быть выбрано любым, но не меньше некоторой величины, позволяющей еще сохранить удобство смены пластинки наибольшего формата Φ_{30} (диаметром 300 *мм*). Из практики это наименьшее расстояние было определено равным 175 *мм*.

Величины радиусов, на которых угловая погрешность принимается равной нулю, могут быть выбраны, исходя из следующих соображений:

1. Погрешность на краю пластинки Φ_{30} может быть допущена наибольшей вследствие более благоприятных условий для воспроизведения, связанных с большой линейной скоростью канавки.

2. Погрешность в конце записи, где линейная скорость мала, должна быть сведена к минимуму, причем преимущество должно быть отдано долгоиграющим пластинкам в том отношении, что минимальная угловая погрешность должна быть близ конечного диаметра микрозаписи (120 *мм*), а не обычной записи (95 *мм*).

Поэтому можно считать наиболее приемлемыми следующие значения:

$$r_м = 60 \text{ мм};$$

$$r_б = 95 \text{ мм}.$$

Величина $r_б$ выбрана так, чтобы угловая погрешность между нулевыми точками не превышала 1°, максимальная угловая погрешность на краю пластинки Φ_{25} была бы больше таковой между нулевыми точками и ход кривой угловой погрешности за ближайшей к центру нулевой точкой не был бы слишком крутым.

Произведем теперь расчет угла коррекции тонарма на основании предложенных данных

$$d = 175 \text{ мм}; \quad r_м = 60 \text{ мм}; \quad r_б = 95 \text{ мм}.$$

Из уравнения (7) вычисляем:

$$l = \sqrt{175^2 + 60 \cdot 95} \approx 190{,}6 \text{ мм}.$$

Из уравнения (3) или (4) находим α, подставив для удобства вычисления вместо $l^2 - d^2$ произведение $r_м r_б$:

$$\cos\alpha = \frac{r_м + r_б}{2l} = \frac{60 + 95}{2 \cdot 190{,}6} = 0{,}4068,$$

откуда $\alpha = 66°$.

Из уравнения (5) определяем угол коррекции

$$\beta = 90° - 66° = 24°.$$

Нас интересуют наибольшие значения угловой погрешности. Они, очевидно будут на краю пластинки Φ_{30}, между двумя нулевыми точками и в конце зоны записи для обычных пластинок. Чтобы вычислить их, пользуемся уравнениями (3), (5) и (6).

Уравнение (3) упрощаем, заменяя $l^2 - d^2$ произведением $r_м r_б$. Тогда

$$\cos\alpha = \frac{r + r_м r_б}{2lr},$$

где r — радиус записи.

При $r = 145$

$$\cos\alpha' = 0{,}4835; \quad \alpha' = 61°05';$$

угол погрешности $\gamma = 90° - (\alpha' + \beta) = 4°55'$.

При $r = 75$

$$\cos\alpha' = 0{,}3963; \quad \alpha' = 66°39'; \quad \gamma = -39'.$$

При $r = 55$

$$\cos\alpha' = 0{,}4161; \quad \alpha = 65°25'; \quad \gamma = 30'.$$

График для выбора оптимальных конструктивных и установочных размеров тонарма, построенный для приведенных выше величин $r_м$ и $r_б$, дан на рис. 10.

Общий ход зависимости угловой погрешности от радиуса записи r для четырех значений d приведен на рис. 11. Как можно видеть, с увеличением длины тонарма угловая погрешность уменьшается практически незначительно, откуда следует вывод, что величина d может быть принята постоянной и равной 175 *мм*. При этом будет обеспечена удобная смена пластинок, малые нелинейные искажения, зависящие от угловой погрешности, а также достигнута экономия труда и материалов при производстве звукоснимателей, электропроигрывателей и радиол.

Правильность установки тонарма относительно центра вращения пластинки (расстояние d) желательно выдерживать с максимально возможной точностью, так как ошибка особенно сказывается на малых диаметрах. Изложенное иллюстрируется рис. 12, где даны кривые зависимости угловой погрешности от радиуса записи при ошибке в установке тонарма в пределах, ±1 *мм*.

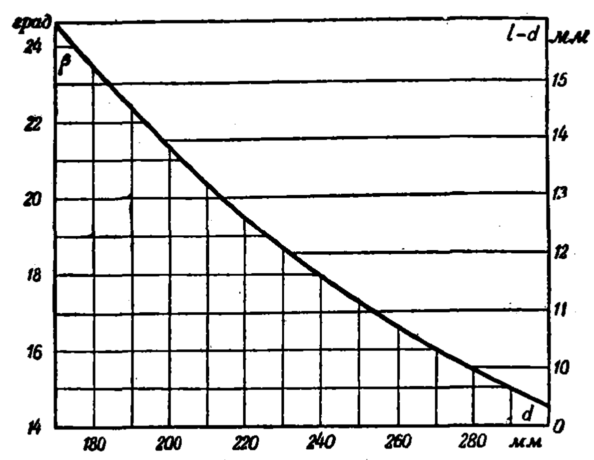


Рис. 10. График для выбора оптимальных конструктивных и установочных размеров тонарма.

β — угол коррекции; d — расстояние между центром вращения пластинки и вертикальной осью тонарма; $l-d$ — вынос иглы за центр вращения пластинки.

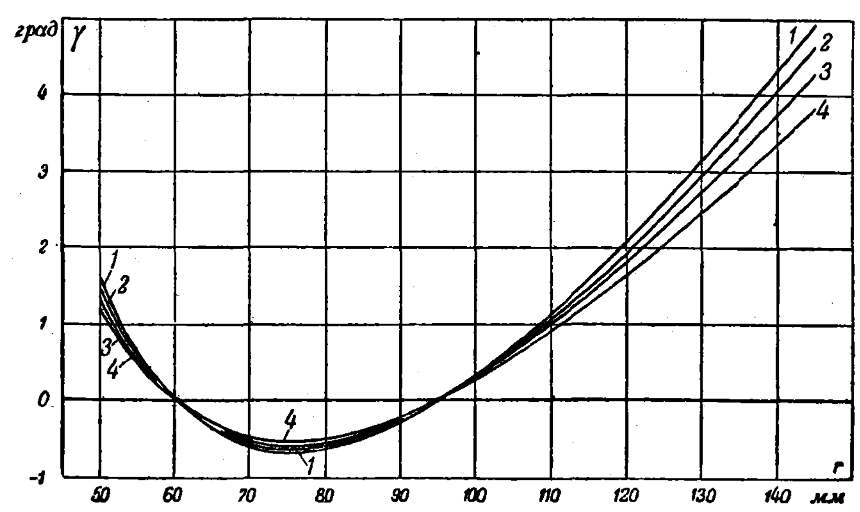


Рис. 11. Зависимость угловой погрешности от радиуса (для четырех значений d).

$1 - d = 175$ *мм*, $l = 190{,}6$ *мм*, $\beta = 24°$;
$2 - d = 185$ *мм*, $l = 199{,}8$ *мм*, $\beta = 24°49'$;
$3 - d = 200$ *мм*, $l = 213{,}8$ *мм*, $\beta = 21°13'$;
$4 - d = 220$ *мм*, $l = 232{,}6$ *мм*, $\beta = 19°26'$,

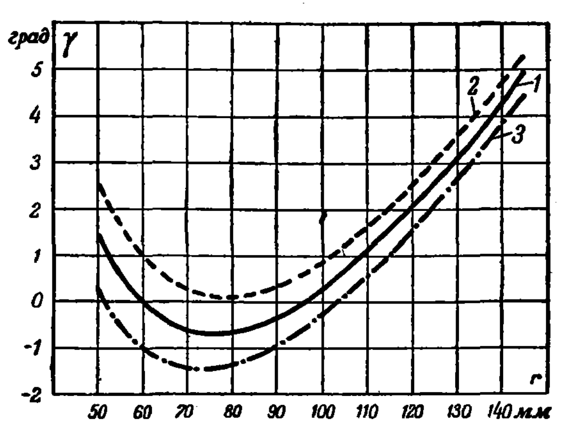


Рис. 12. Зависимость угловой погрешности γ от радиуса пластинки r при ошибке в установке тонарма в пределах ± 1 *мм* (данные звукоснимателя: $d = 175$ *мм*, $l = 190{,}6$ *мм*, $\beta = 24°$).

$1 - d = 175$ *мм*; $2 - d = 174$ *мм*; $3 - d = 176$ *мм*.

Боковое усилие на иглу. Вынос иглы за центр вращения пластинки создает боковое усилие на иглу, направленное к центру пластинки. Мы рассмотрим это явление потому, что большая величина бокового усилия вызывает повышенный износ одной стороны канавки записи, а в некоторых случаях может даже явиться причиной неустойчивой работы звукоснимателя. На рис. 13 показаны силы, действующие на иглу в этом случае. Как можно видеть, обе составляющие — сила трения F_m, направленная по касательной к канавке, и противодействующая сила F_n в направлении вертикальной оси вращения тонарма, всегда будут образовывать тупой угол, обращенный вершиной к краю пластинки

Из косоугольного треугольника ABC можем написать

$$F_б^2 = F_m^2 + F_n^2 - 2F_mF_n \cos\delta.$$

Так как силы F_m и F_n всегда равны по величине, то

$$F_б^2 = 2F_m^2 - 2F_m^2 \cos\delta = 2F_m^2 (1 - \cos\delta),$$

откуда

$$F_б = F_m\sqrt{2(1 - \cos\delta)}. \qquad (8)$$

Очевидно, угол δ будет равен алгебраической сумме углов коррекции и погрешности, т. е.

$$\delta = \beta + \gamma. \quad (9)$$

Сила трения F_m пропорциональна нагрузке на иглу P и коэффициенту трения k_m:

$$F_m = Pk_m.$$

Коэффициент трения для пары шеллачная пластинка—корунд равен 0,079, для пары винилитовая пластинка—корунд 0,10 и для пары шеллачная пластинка — сталь 0,076.

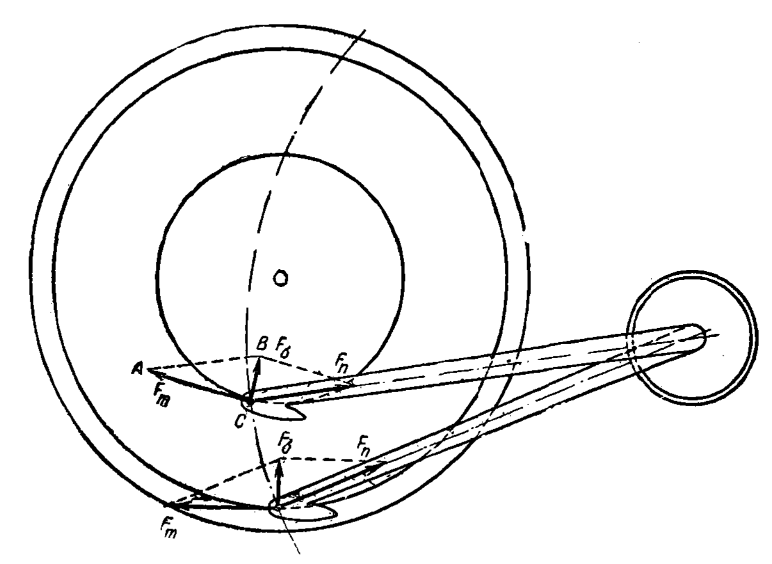


Рис. 13. Силы, действующие на иглу, при выносе ее за центр вращения пластинки.

Нас особенно интересует случай микрозаписи, т. е. пара корунд — винилит (где кстати коэффициент трения наибольший). Поэтому мы и произведем для него соответствующий расчет, притом для наиболее короткого тонарма, когда условия работы наиболее тяжелы.

Так как коэффициент трения является постоянной величиной, а нагрузка на иглу величина, заданная для данного звукоснимателя, то боковое усилие будет зависеть от величины угла δ. При этом максимальное боковое усилие будет

там, где значение δ наибольшее, т. е. при наибольшем угле погрешности γ. Принимая в нашем случае максимальное значение γ равным 5° (на краю пластинки), имеем:

$$\delta = 24° + 5° = 29°.$$

Задаваясь максимальной допустимой для звукоснимателей с постоянными иглами нагрузкой на иглу в 14 *г*, получаем боковое усилие

$$F_б = 14 \cdot 0,1 \sqrt{2(1-0,875)} = 0,7 \text{ г},$$

т. е. около 5% от нагрузки на иглу.

Такое боковое усилие не представляется опасным в отношении неравномерного износа стенок канавки, а тем более выброса иглы из канавки.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности современных звукоснимателей.

Прежде всего необходимо, чтобы звукосниматель мог воспроизводить как долгоиграющие, так и обычные пластинки. Механическое различие между обоими видами записи заключается, по существу, в глубине канавки и радиусе закругления ее дна. Согласно новому ГОСТ различие в максимальных амплитудах записи ничтожно, поскольку для микрозаписи допускаются кратковременные превышения уровня на низких частотах с амплитудой смещения до 35 *мк* (см. стр. 5) по сравнению с 40 *мк* для обычной и, следовательно, необходимая нагрузка на иглу почти одинакова. Поэтому в универсальном звукоснимателе при переходе с одного вида записи на другой должна быть только заменена игла.

Соединение иглы с подвижной системой звукоснимателя. В звукоснимателях старого типа, работавших на сменных иглах, всегда предусматривалось жесткое соединение иглы с подвижной системой посредством зажимного винта. Это было необходимо потому, что подвижные системы звукоснимателей обладали большим механическим сопротивлением и требовали относительно больших усилий для приведения их в движение.

Звукосниматели с легкими подвижными системами и очень малыми корундовыми иглами позволили применить

гораздо менее жесткую связь между иглой и подвижной системой, жесткую лишь настолько, чтобы обеспечить нормальную работу звукоснимателя на высоких частотах заданного рабочего диапазона. Так, например, оказалось возможным делать литые иглодержатели из пластмассы.

Исследования показали, что при работе иглы на рычаге, поставленном под углом порядка 60° к пластинке, возникают паразитные колебания из-за тянущего усилия, передаваемого пластинкой (в старых системах из-за большого давления на пластинку эти колебания возникнуть не могли). Поэтому оказалось целесообразным устанавливать иглу на прямом иглодержателе, расположенном под очень малым углом к плоскости пластинки (рис. 14). Связь с генерирующим элементом осуществляется в этом случае через изогнутый поводок, соединенный с иглодержателем близ иглы. Такая конструкция обладает рядом положительных особенностей. Она обеспечивает большую податливость системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях и позволяет легко осуществить смену иглодержателя с изношенной иглой.

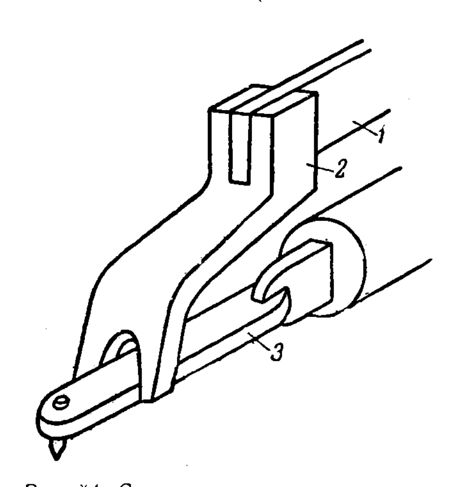


Рис. 14. Связь иглодержателя с генерирующим элементом.
1 — пьезоэлемент; *2* — поводок; *3* — иглодержатель.

При конструировании звукоснимателей с постоянными иглами необходимо предусматривать защиту корундовых игл от удара (например, в случае падения звукоснимателя на пластинку).

В звукоснимателях с малой податливостью иглы в вертикальной плоскости обычно применяется эксцентрик, свободно вращающийся на оси. В нерабочем положении звукоснимателя эксцентрик опущен ниже иглы и в случае падения звукоснимателя принимает удар на себя.

При большой податливости иглы в вертикальной плоскости для защиты ее от удара с обеих сторон иглы на корпусе головки делают два прилива так, чтобы игла выступала за их пределы примерно на 1—1,5 *мм*. В этом случае при ударе игла уходит в корпус головки, а основная энергия удара принимается приливами.

Установка головки звукоснимателя в тонарме. Установка головки может быть осуществлена различными способами. За рубежом, например, часто применяется крепление головки к тонарму двумя винтами, причем на контактные штырьки головки надеваются легкие гнезда, соединенные с выводным шнуром. Для смены головки требуется только отвертка, причем смена может быть легко выполнена самим слушателем в течение нескольких минут. Иногда головка представляет собой переднюю часть тонарма. В этом случае она имеет выступ (с контактами), который входит в тонарм. Наиболее удобной, однако, является конструкция, в которой головка вставляется внутрь тонарма от руки и закрепляется пружинным замком, причем контактные выступы головки входят в соприкосновение с контактными пластинами в тонарме.

Звукосниматель со сменными головками. Головки, одинаковые по конструкции, отличаются друг от друга только иглами и весом (головку для обычной записи иногда утяжеляют вкладышем). При этом получают наилучшее воспроизведение при наименьшем износе записей и игл. Недостатком такой конструкции является ее повышенная стоимость из-за наличия двух головок вместо одной, а также некоторое неудобство при частом переходе с одного вида записи на другой.

Однако со временем «универсальность» звукоснимателей в радиолах окажется не нужной, так как долгоиграющие пластинки настолько лучше обычных, что никто не станет пользоваться последними при электрическом воспроизведении.

В результате необходимость установки двух игл в звукосниматель отпадет, а для прослушивания в отдельных случаях уникальных записей на обычных пластинках окажется наиболее удобным звукосниматель со сменными головками.

Звукосниматель с универсальной иглой. Универсальная игла (рис. 15) предназначена для воспроизведения обоих видов записи. Как уже говорилось, для нормального воспроизведения игла должна опираться на стенки канавки, не касаясь ее дна. Поэтому концу универсальной иглы придана такая форма, при которой игла отвечает указанному

требованию в обоих случаях записи. При этом в своем сечении игла может быть сделана овальной с длинной осью, расположенной поперек канавки для нормального огибания канавки на высоких частотах при воспроизведении микрозаписи.

Удобство применения подобной иглы с точки зрения как производственной, так и эксплуатационной очевидно. Однако износ такой иглы при воспроизведении обычных пластинок, масса которых содержит абразивные наполнители, будет происходить сравнительно быстро. Из-за этого будет повышаться износ долгоиграющих пластинок и резко ухудшаться их воспроизведение, особенно в области высоких частот.

Рис. 15. Универсальная игла в канавке.
1 — канавка микрозаписи; 2 — канавка обычной записи.

Можно полагать, что именно по этой причине универсальная игла распространения не получила.

Звукосниматель с иглами, расположенными под углом в 180°. В этом звукоснимателе два иглодержателя связаны с одним генерирующим элементом. Головка монтируется в специальном держателе и может поворачиваться на 180° ручкой, выведенной сбоку или чаще на торцовую часть тонарма. Недостатком такой конструкции обычно является то, что второй иглодержатель представляет собой дополнительную механическую нагрузку для работающего иглодержателя, что вызывает сокращение частотного диапазона и увеличение нагрузки на иглу.

На рис. 16 показана одна из лучших конструкций такого звукоснимателя пьезокристаллического типа. Здесь связующий элемент *СЭ* выполнен из эластичного материала, выбранного так, что звукосниматель воспроизводит частоты вплоть до высоких. В то же время вносимая этим материалом гибкость достаточна, чтобы развязать системы иглодержателей между собой.

Существуют также системы с двумя головками в общем держателе, расположенными под углом в 180° одна относительно другой. Эта конструкция сохраняет раздельные системы для каждого вида записи. Однако с экономической точки зрения этот вариант невыгоден.

Звукосниматель с двумя иглами, расположенными одна за другой. Такой звукосниматель имеет один генерирующий элемент и одну подвижную систему. Иглодержатель удлинен и несколько изогнут. Иглы расположены вдоль иглодержателя одна за другой. Головка находится в специальном держателе и поворачивается ручкой, выведенной сбоку или с торца тонарма так, что в соприкосновение с пластинкой входит та или другая игла (рис. 17).

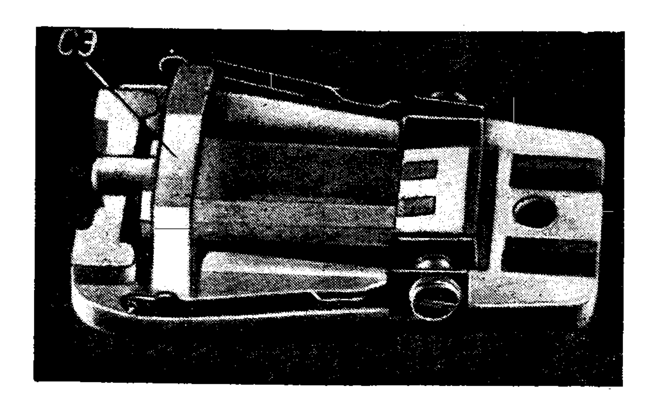


Рис. 16. Звукосниматель с иглами, расположенными под углом 180°.

В подобной системе для согласования нагрузки на иглу выгоднее передней иглой, расположенной на более длинном рычаге, вести воспроизведение обычной записи, имеющей большую амплитуду. Это обычно и делается. Но в этом случае при воспроизведении микрозаписи вся передняя часть

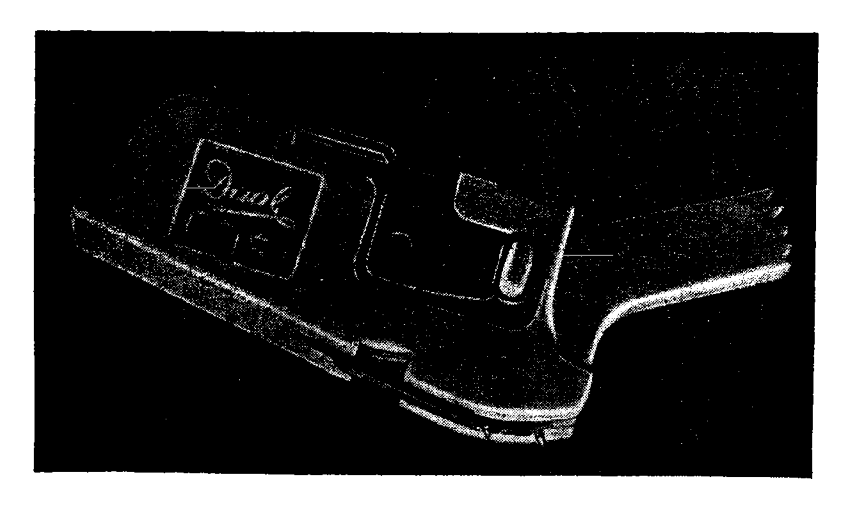


Рис. 17. Звукосниматель с двумя иглами, расположенными одна за другой.

иглодержателя вместе с иглой, расположенной впереди работающей иглы, существенно увеличивает эффективное значение массы иглодержателя. В результате рабочий частотный диапазон для микрозаписи оказывается заметно короче, чем для обычной записи, тогда как требуется как раз обратное. Таким образом, в этом варианте мы далеки от оптимальных условий воспроизведения. С конструктивной точки зрения следует отметить весьма громоздкую систему переключения рода работы в этом звукоснимателе.

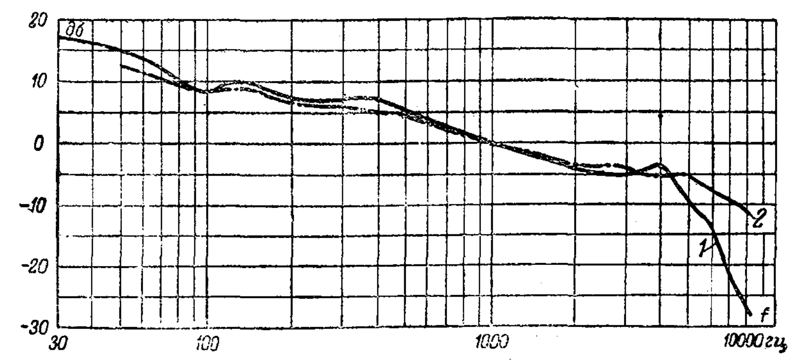


Рис. 18. Частотные характеристики звукоснимателя, показанного на рис. 17.

1 — микрозапись; *2* — обычная запись.

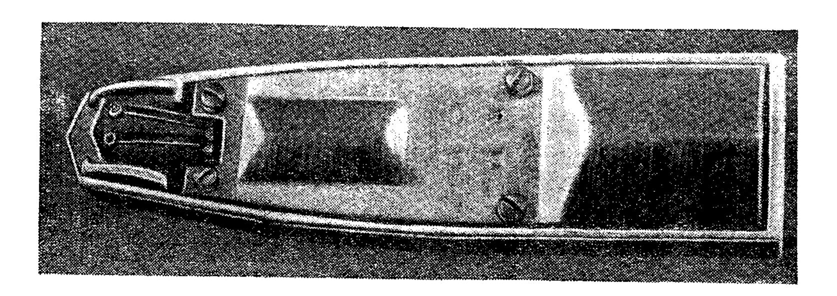
Типичные частотные характеристики подобного звукоснимателя приведены на рис. 18.

Звукосниматель с рядом стоящими иглами. В этом звукоснимателе имеются также один генерирующий элемент и одна подвижная система, но иглы расположены рядом, а не одна за другой. Для переключения рода работы система поворачивается вокруг своей продольной оси, как в случае звукоснимателя с поворотной головкой, но только на небольшой угол, что удобнее в эксплуатации. К преимуществам такой системы можно отнести однородность частотных характеристик звукоснимателя для обоих видов записи, а также легкость сохранения правильности расположения рабочей иглы относительно центра вращения пластинки.

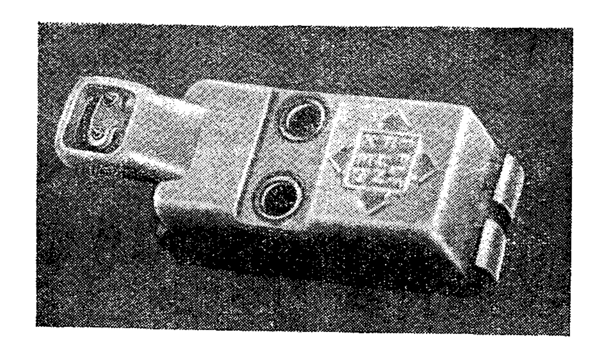
Существует несколько конструктивных оформлений этой системы. В одном из них, например, общий держатель из пластмассы несет на себе два миниатюрных иглодержателя с иглами (рис. 19,*а*), а в другой иглодержатель к концу

раздвоен и на конце каждого отростка вмонтирована игла (рис. 19,*б*).

Значительно более совершенным является вариант звукоснимателя с переключающимся иглодержателем. Иглодержатель в виде прямой балки расширен на конце, и обе иглы расположены рядом на близком расстоянии друг от друга.



а)



б)

Рис. 19. Звукосниматель с рядом стоящими иглами.

а — держатель из пластмассы несет на себе два отдельных иглодержателя с иглами; *б* — иглодержатель раздвоен и на конце каждого отростка вмонтирована игла.

При переключении рода работы поворачивается на небольшой угол только сам иглодержатель. Такая конструкция позволяет свести к минимуму эффективную массу подвижной системы и за счет этого существенно расширить рабочий частотный диапазон звукоснимателя.

Более подробно это устройство разобрано в описании пьезокерамического звукоснимателя типа ЗПК-56, в котором оно применено впервые (см. стр. 37).

СИСТЕМЫ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Подавляющее большинство прежних звукоснимателей, рассчитанных для воспроизведения обычной записи, были электромагнитного и пьезоэлектрического типов. Основным параметром, определившим этот выбор, являлась большая чувствительность, которую можно было легко обеспечить в обоих случаях. При этом значительная механическая прочность, независимость от температуры и влажности окружающего воздуха, а главное меньшие нелинейные искажения давали преимущество звукоснимателям электромагнитного типа перед пьезоэлектрическими, строившимися на сегнетовой соли — единственном материале, применявшемся тогда для этой цели.

Однако пьезоэлектрические звукосниматели имеют и свои существенные достоинства по сравнению с электромагнитными, особенно ценные для современных звукоснимателей.

Принципиально частотная характеристика звукоснимателя, развивающего э. д. с., пропорциональную колебательной скорости конца иглы (электромагнитный, динамический, ленточный), имеет вид горизонтальной линии. Частотная же характеристика звукоснимателя, отдача которого пропорциональна смещению конца иглы (каковым является пьезоэлектрический), имеет вид кривой, наклоненной в сторону высоких частот. Таким образом, во втором случае частотная характеристика звукоснимателя приближается к требуемой характеристике воспроизведения, тогда как в первом случае необходимо применение коррекции в усилителе.

Пьезоэлектрические звукосниматели обладают значительно более высокой чувствительностью, чем электромагнитные (преимущество, значение которого будет видно из дальнейшего) и при этом не боятся электромагнитных наводок. Они просты по конструкции и их себестоимость мала.

Пьезоэлектрические звукосниматели прежних выпусков, построенные на пьезоэлементах из сегнетовой соли, часто вызывали справедливые нарекания со стороны пользовавшихся этими приборами. Основным достоинством сегнетовой соли, вызвавшим ее широкое применение, явился большой пьезоэлектрический эффект. Однако весьма существенные недостатки, как хрупкость, гигроскопичность, способность к выветриванию (вследствие наличия кристаллизационной воды) и, наконец, большая зависимость ее электрических и пьезоэлектрических параметров от температуры, создали плохую славу пьезоэлектрическим звукоснимателям. В результате в широкой массе радиолюбителей создалось отрицательное отношение к пьезоэлектрическим приборам этого рода вообще, в то время как появление в технике новых пьезоматериалов, обладающих большим пьезоэлектрическим эффектом и свободных от недостатков, присущих сегнетовой соли, существенно изменило положение.

Из числа новых материалов для пьезоэлектрических звукоснимателей представляют интерес фосфат аммония и, особенно, керамический титанат бария. Фосфат аммония был открыт и получил применение во время Отечественной войны. Он отличается меньшей гигроскопичностью, не содержит кристаллизационной воды (отчего не боится выветривания), выдерживает более высокую температуру и обладает большей механической прочностью, чем сегнетова соль.

Совершенно новый пьезоэлектрик — керамический титанат бария — был открыт и исследован в 1944—1946 гг. Б. М. Вулом и Гольдман в Физическом институте АН СССР. Этот материал, представляющий собой поликристалл титаната бария, обладая большой механической прочностью, сохраняет свои свойства в широком интервале температур и при любой влажности так, что может работать непосредственно в воде. Кроме большого пьезоэлектрического эффекта, его существенным достоинством является большая диэлектрическая постоянная.

При разработке звукоснимателей с малой нагрузкой на иглу необходимость существенно уменьшить массу подвижной системы и увеличить ее податливость, естественно, привела к снижению чувствительности. В звукоснимателях электромагнитного типа, например, даже при применении постоянных магнитов с высокой магнитной энергией оказалось невозможным получить достаточную величину переменной составляющей магнитного потока. В результате чувствительность снизилась с принятой ранее нормы (не ниже 50 *мв/см/сек*) примерно в 10 раз и для большинства современных электромагнитных звукоснимателей лежит в пределах 3—7 *мв/см/сек*. Поэтому такие звукосниматели обычно снабжаются специальным повышающим трансформатором (часто с корректирующим контуром), а в проигрывателях иногда каскадом предварительного усиления низкой частоты с собственным питающим устройством.

Необходимость предварительного усиления и применения коррекции приблизила электромагнитные звукосниматели к электродинамическим, причем последние проще по конструкции и принципиально могут обеспечить меньшие нелинейные

искажения. Поэтому в настоящее время за рубежом установилось примерно равное соотношение по количеству выпускаемых типов электромагнитных и электродинамических звукоснимателей.

В пьезоэлектрических звукоснимателях требование малой нагрузки на иглу также привело к сокращению габаритов генерирующих систем. Однако благодаря большому запасу чувствительности, а также вследствие того обстоятельства, что уменьшение толщины пьезоэлементов увеличило их податливость, чувствительность и в новых системах оказалась более чем достаточной (для различных конструкций она лежит в пределах от 60 до 300 *мв/см/сек*).

В настоящее время пьезоэлектрические звукосниматели повсеместно получили наибольшее распространение, причем наиболее перспективными являются звукосниматели пьезокерамические. Далее будут рассмотрены некоторые типы звукоснимателей, выпускаемых нашей промышленностью.

ЗВУКОСНИМАТЕЛЬ ЗУФ-52

Этот пьезокристаллический звукосниматель с пьезоэлементом из фосфата аммония работает на сменных иглах, причем для воспроизведения долгоиграющих пластинок применяется корундовая игла в оправке, а для воспроизведения обычных пластинок — стальные иглы тихого тона.

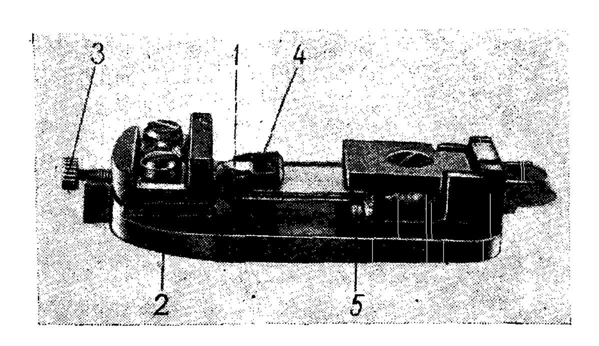


Рис. 20. Головка звукоснимателя ЗУФ-52.

Конструкция головки звукоснимателя ЗУФ-52 показана на рис. 20, а общий вид звукоснимателя — на рис. 21.

Вибратор *1* выполнен из легкого металла. Горизонтальный вал вибратора зажат через резиновые подшипники в

корпусе головки *2*, сделанном из пластмассы. В передней части вала находится зажимной винт *3*, лежащий на оси вращения вибратора, что наиболее выгодно с точки зрения уменьшения эффективной массы подвижной системы. Отверстие под иглу имеет V-образную форму. Это обеспечивает надежное закрепление иглы в вибраторе и нормальную работу звукоснимателя на высоких частотах. В вилку вибратора через прокладку *4* из специальной резины, обладающей высокими демпфирующими свойствами, вставлен

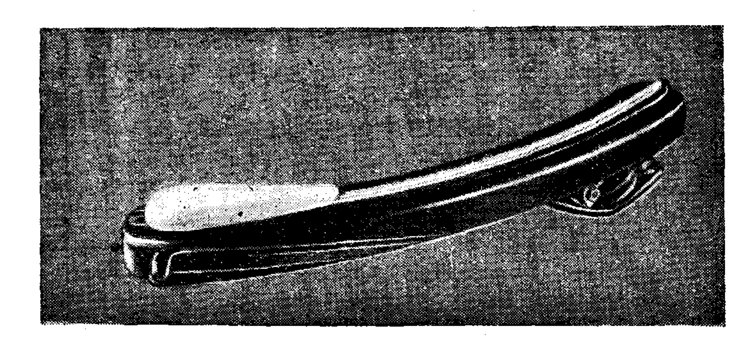


Рис. 21. Общий вид звукоснимателя ЗУФ-52.

пьезоэлемент, закрепленный с другой стороны в корпусе через прокладки *5*, выполненные из той же резины. Пьезоэлемент работает на скручивание. Головка защищена стальным кожухом, предохраняющим пьезоэлемент от механических повреждений и являющимся вместе с тем электростатическим экраном.

Масса подвижной системы такого звукоснимателя относительно велика, так как вибратор должен быть достаточно большим для закрепления иглы зажимным винтом. Поэтому получить широкий диапазон воспроизводимых частот в этом случае невозможно. Однако, как видно из приведенных на рис. 22 частотных характеристик, звукосниматель все же обеспечивает воспроизведение частот от 30 до 7 000 *гц*.

Тонарм звукоснимателя выполнен из пластмассы. Необходимая нагрузка на иглу устанавливается постоянным противовесом. Регулировка нагрузки на иглу при переходе с одного рода работы на другой осуществляется дополнительным противовесом, перемещающимся по рейке, расположенной сверху тонарма (рис. 21).

Вследствие малой диэлектрической постоянной фосфата аммония (около 14) полное сопротивление пьезоэлемента относительно велико. Поэтому, чтобы при обычной нагрузке в 1 *Мом* получить частотную характеристику звукоснимателя близкой к характеристике воспроизведения, звукосниматель шунтируется конденсатором (установленным в тонарме) емкостью около 400 *пф.*

Приводим основные данные звукоснимателя: рабочий частотный диапазон от 30 до 7 000 *гц*; чувствительность около

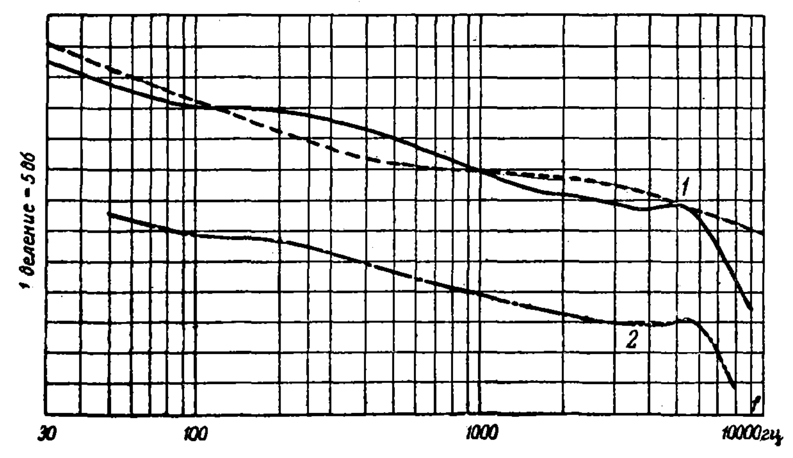


Рис. 22. Частотные характеристики звукоснимателя ЗУФ-52.

1 — микрозапись (штриховой линией дана частотная характеристика воспроизведения); *2* — обычная запись.

110 *мв/см/сек*; нагрузка на иглу для долгоиграющих пластинок 15, а для обычных пластинок 30 *г*; податливость подвижной системы $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*; коэффициент гармоник на частоте 400 *гц* около 4% при колебательной скорости 6 *см/сек.*

Несмотря на удовлетворительные для этого класса звукоснимателей основные параметры, конструкция звукоснимателя с точки зрения современных требований совершенно устарела.

ЗВУКОСНИМАТЕЛЬ УЭЗ-1

Этот звукосниматель электромагнитного типа применен в радиоле «Даугава». Общий вид звукоснимателя приведен на рис. 23, а его частотные характеристики — на рис. 24.

Звукосниматель построен по известной мостовой магнитной схеме, в которой якорь является диагональю.

Иглы установлены в противоположных концах якоря под углом 180°. Головка поворачивается на указанный угол ручкой, выведенной сбоку тонарма. Для предохранения иглы от поломки при ударе позади головки звукоснимателя расположен защитный эксцентрик, обеспечивающий плавный спуск иглы на пластинку.

Сопротивление катушки постоянному току 2 000 *ом*, число витков 4 000, провод ПЭЛ 0,03. Катушка шунтирована конденсатором в 4 700 *пф*, установленном в тонарме.

Расстояние от вертикальной оси тонарма до центра вращения пластинки 182 *мм*, выход иглы за центр 18 *мм*, угол

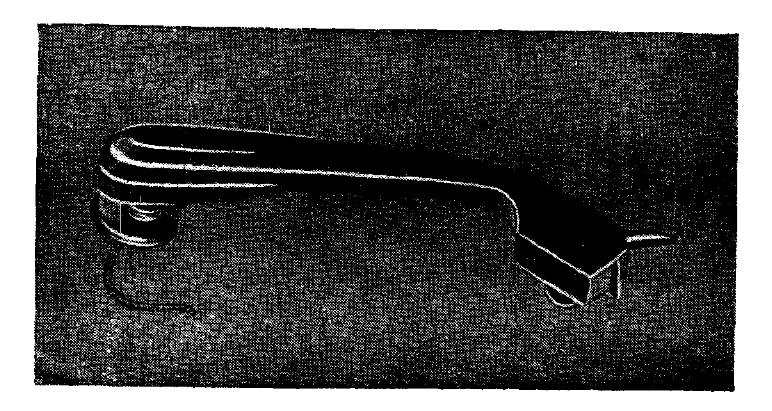


Рис. 23. Общий вид звукоснимателя УЭЗ-1.

коррекции 27°. При этом угловая погрешность в начале, середине и конце записи одинакова и не превышает 2°20′.

Для компенсации бокового усилия, возникающего вследствие выхода иглы за центр вращения пластинки, применена специальная пружина.

Основные данные звукоснимателя: рабочий частотный диапазон от 50 до 7 000 *гц*; чувствительность около 50 *мв/см/сек*; нагрузка на иглу не более 16 *г*; коэффициент гармоник на частоте 1 000 *гц* при колебательной скорости 6 *см/сек* не более 4%; угол наклона иглы к пластинке 84°.

В отношении рассмотренного звукоснимателя можно сказать следующее.

Конструкция прибора очень сложна. Желание получить большую чувствительность без повышающего трансформато-

ра привело к применению дорогих и специальных материалов для магнитной цепи и катушки большого объема из тонкого эмалированного провода. Оказалось также необходимым существенно уменьшить магнитные зазоры, что, как известно, затрудняет регулировку и вызывает увеличение нелинейных искажений. Масса подвижной системы при этом также получилась относительно большой, что, в свою очередь, привело к большой нагрузке на иглу и ограничению рабочего диапазона со стороны высоких частот.

Податливость подвижной системы в вертикальной плоскости мала, почему и потребовался эксцентриковый механизм. По той же причине переменные динамические нагрузки, имеющие место при работе звукоснимателя, из-за неровности пластинок и эффекта заклинивания неизбежно будут вызывать повышенный износ записей и игл.

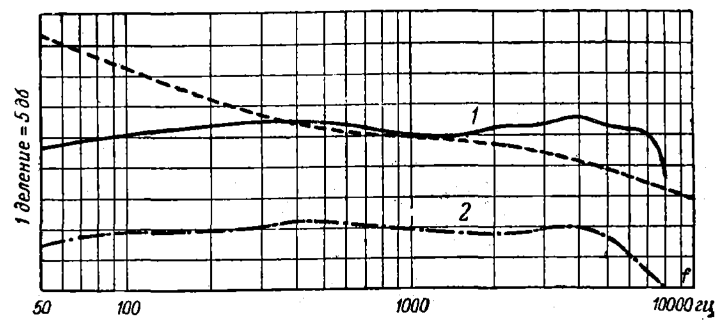


Рис. 24. Частотные характеристики звукоснимателя УЭЗ-1.
1 — микрозапись (штриховой линией дана частотная характеристика воспроизведения); 2 — обычная запись.

Отсутствие механического демпфера вызвало необходимость применения конденсатора для уменьшения пика в частотной характеристике и нелинейных искажений на частоте резонанса подвижной системы. Однако, как указывалось, механический резонанс, а значит и увеличение механического сопротивления, вызывающее повышенный износ записей и игл, этим не устраняется.

Для замены изношенных игл завод прилагает к звукоснимателю запасной якорь. Однако замена якоря может быть выполнена только квалифицированным техником при непременном наличии осциллографа для сведения к минимуму нелинейных искажений.

Расчет угла коррекции звукоснимателя выполнен неудачно. Как мы видели, условия воспроизведения на краю пластинки существенно легче, чем в середине, а тем более у конца записи, что и вызывает необходимость сводить угловую погрешность в направлении конца записи к минимуму.

Изложенное показывает, что звукосниматель типа УЭЗ-1 не отвечает современным требованиям.

ЗВУКОСНИМАТЕЛЬ ЗПК-56

Пьезокерамический звукосниматель типа ЗПК-56 применяется в ряде радиол и электрограммофонов, выпускаемых нашей промышленностью.

Как уже было сказано, пьезокерамические звукосниматели являются наиболее перспективными. Звукосниматель, построенный на керамическом титанате бария, обладает рядом положительных особенностей. Он имеет достаточную чувствительность при относительно низком электрическом полном сопротивлении. Частотная характеристика его близка к характеристике воспроизведения. Нелинейные искажения малы. Звукосниматель прост и не требует для изготовления дефицитных и дорогих материалов. Он обладает большой механической прочностью и работа его практически не зависит от климатических условий.

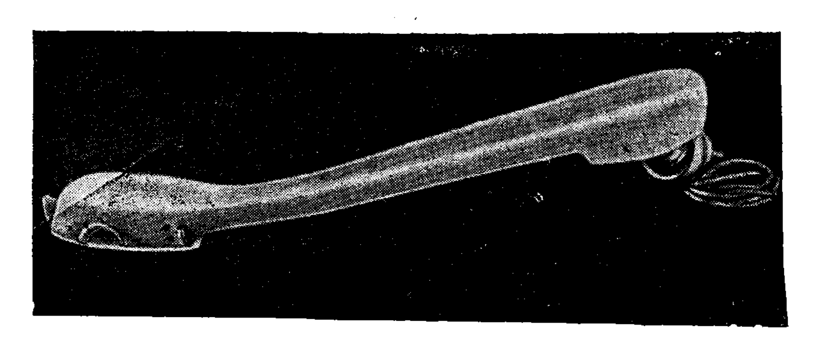


Рис. 25. Общий вид звукоснимателя ЗПК-56.

Общий вид звукоснимателя ЗПК-56 дан на рис. 25, а конструкция его головки — на рис. 26. Пьезокерамический элемент *1* в виде прямоугольной балки, работающей на изгиб, вставлен в резиновый карман *2*. В карман вмонтированы две контактные пластины из металлической фольги *3*. Демпфирующий блок П-образной формы *4* из специального материала — оксилена — надет на пьезоэлемент. Свободный

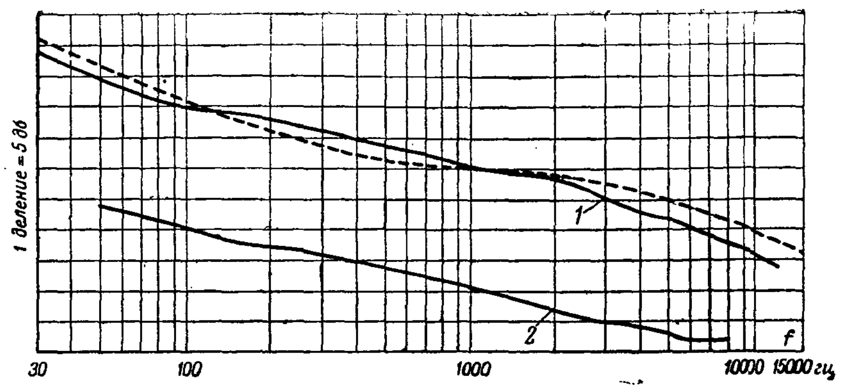


Рис. 28. Частотные характеристики звукоснимателя ЗПК-56.
1 — микрозапись (штриховой линией дана частотная характеристика воспроизведения); 2 — обычная запись.

провод. Опорная шайба *5* для уменьшения трения выполнена из специальной пластмассы.

Поворотная ножка тонарма закрепляется на панели гайкой через резиновый амортизатор, что уменьшает возможность возникновения акустической связи.

Основные данные звукоснимателя: рабочий частотный диапазон от 30 до 12 000 *гц*; чувствительность около 80 *мв/см/сек*; податливость подвижной системы около $1 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*; нагрузка на иглу 12 *г*; емкость около 900 *пф*; коэффициент гармоник на частоте 1000 *гц* при колебательной скорости 6,13 *см/сек* не более 2%.

Частотные характеристики звукоснимателя приведены на рис. 28. Они близки к частотной характеристике воспроизведения.

СОДЕРЖАНИЕ

440 — 2

конец пьезоэлемента жестко связан с поводком *5* из легкой пластмассы. Иглодержатель *6* из той же пластмассы, связан с рычагом переключения *7* через резиновую муфту *8*. Цилиндрическая пружина *9* устраняет люфт рычага в корпусе, а плоская пружина *10* фиксирует положение рычага при переключении игл. Снизу иглодержатель закрывается крышкой, защищающей систему от механических повреждений.

Положение демпфирующего блока в гнезде корпуса головки устанавливается самим пьезоэлементом, что устраняет возможность возникновения каких-либо перекосов и напряжений. Конструкция блока обеспечивает минимальное реактивное сопротивление, вносимое в подвижную систему и автоматическую компенсацию допусков на толщину пьезоэлемента.

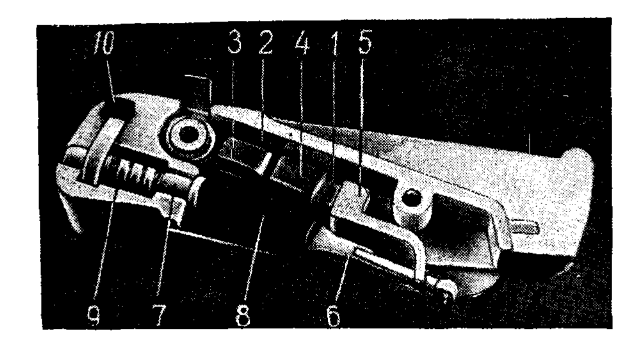


Рис. 26. Головка звукоснимателя ЗПК-56.

Переключение игл, расположенных рядом на конце иглодержателя, осуществляется поворотом иглодержателя вокруг своей оси на небольшой угол. Такая конструкция позволяет поместить иглы на предельно близком расстоянии друг от друга, что дает возможность уменьшить эффективную массу иглодержателя и, как следствие, расширить частотный диапазон звукоснимателя. Расположение игл на близком расстоянии от оси вращения практически устраняет перекашивающие усилия и сводит к минимуму нелинейные искажения, зависящие от этой причины.

Как указывалось, преимуществом такой подвижной системы звукоснимателя с иглодержателем, подвешенным отдельно, является то, что игла находится на конце прямой балки, расположенной под углом порядка нескольких градусов к граммофонной пластинке. Благодаря этому тянущее усилие, создаваемое канавкой при воспроизведении, не может вызвать паразитных колебаний иглы. Кроме того, иглодержатель, выполненный в виде отдельной детали, может быть легко заменен в случае износа иглы.

Применение для поводка и иглодержателя вместо металла легкой пластмассы, несмотря на относительно большие габариты этих деталей, позволило сделать малым их вес. Благодаря этому резонанс подвижной системы передвинулся в область более высоких частот. Монтаж всей системы в резине повысил податливость подвижной системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, что привело к уменьшению постоянной нагрузки на иглу и свело к минимуму переменные нагрузки на иглу при эффекте заклинивания и воспроизведении покоробленных пластинок. Кроме того, большая вертикальная податливость сделала систему удароупорной. При ударе игла успевает уйти внутрь головки и удар воспринимается ее корпусом.

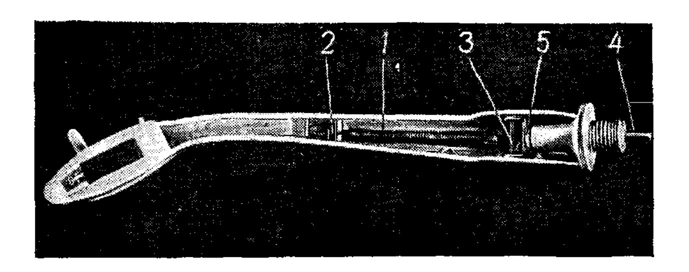


Рис. 27. Устройство отжимной пружины звукоснимателя ЗПК-56.

Головка вставляется в тонарм от руки на пружинном замке. Поэтому при транспортировке она может быть упакована отдельно, что повышает ее сохранность. Для защиты игл от случайных повреждений до установки головки на место она снабжена предохранительным щитком.

Тонарм звукоснимателя выполнен из пластмассы и построен на основании соображений и данных, приведенных ранее. Регулировка нагрузки на иглу осуществлена цилиндрической пружиной, как это показано на рис. 27. Регулировка натяжения пружины *1* легко осуществляется деталью *2*, ввинчивающейся в пружину и вкладывающейся в специальные выступы в тонарме. Горизонтальная поворотная ось *3* выполнена в виде тонкой шпильки. Вертикальная ось представляет собой трубку *4*, сквозь которую проходит выводной

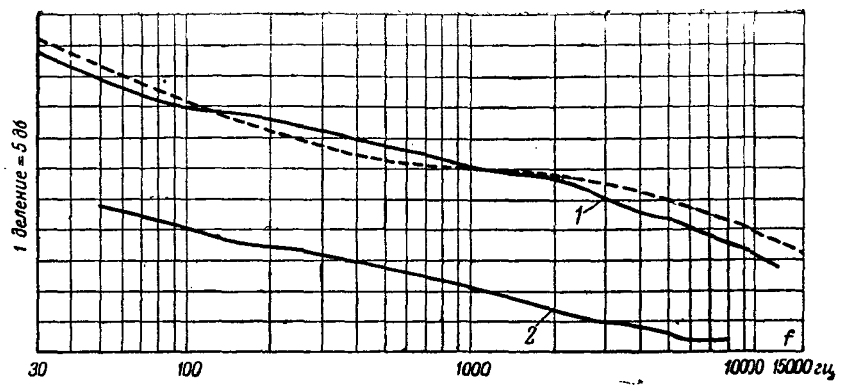


Рис. 28. Частотные характеристики звукоснимателя ЗПК-56.
1 — микрозапись (штриховой линией дана частотная характеристика воспроизведения); *2* — обычная запись.

провод. Опорная шайба *5* для уменьшения трения выполнена из специальной пластмассы.

Поворотная ножка тонарма закрепляется на панели гайкой через резиновый амортизатор, что уменьшает возможность возникновения акустической связи.

Основные данные звукоснимателя: рабочий частотный диапазон от 30 до 12 000 *гц*; чувствительность около 80 *мв/см/сек*; податливость подвижной системы около $1 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*; нагрузка на иглу 12 *г*; емкость около 900 *пф*; коэффициент гармоник на частоте 1000 *гц* при колебательной скорости 6,13 *см/сек* не более 2%.

Частотные характеристики звукоснимателя приведены на рис. 28. Они близки к частотной характеристике воспроизведения.

СОДЕРЖАНИЕ